



DE 197 46 127 C 1

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ Patentschrift
⑩ DE 197 46 127 C 1

⑤① Int. Cl.⁶:
G 01 C 19/56
G 01 P 9/04

②① Aktenzeichen: 197 46 127.1-52
②② Anmeldetag: 18. 10. 97
④③ Offenlegungstag: -
④⑤ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 12. 5. 99

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ Patentinhaber:
Bodenseewerk Gerätetechnik GmbH, 88662
Überlingen, DE

⑦④ Vertreter:
Weisse und Kollegen, 42555 Velbert

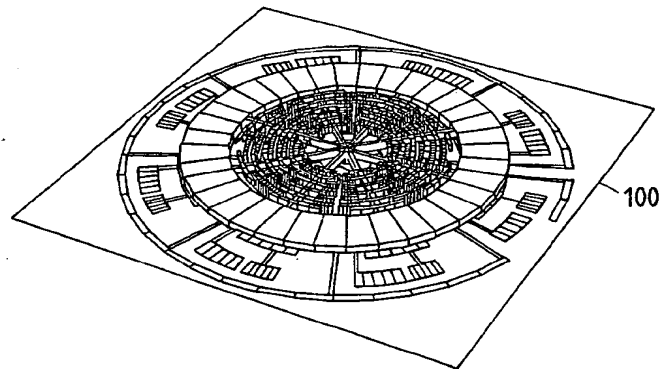
⑦② Erfinder:
Büttner, Knut, Dr., 88662 Überlingen, DE

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

US 56 68 318 A
EP 07 29 010 A1

⑤④ Sensor zur Messung von Drehraten und Verfahren zu seiner Herstellung

⑤⑦ Bei einem Sensor zur Messung von Drehraten mit einem durch Schwingantriebsmittel (66) zu Schwingungen um eine erste Achse angeregten Schwingglied (10) ist das Schwingglied (10) ein Ring (12), dessen Ebene sich senkrecht zu der ersten Achse erstreckt und der an einem zentralen, in Richtung der ersten Achse liegenden Torsionsstab (29) sitzt. Abgriffe (114, 116, 118, 1120, 122, 124, 126, 128) sprechen auf Auslenkungen des Ringes (12) um eine zweite, zu der ersten Achse senkrechte Achse an, wobei diese Auslenkung durch Corioliskräfte bei einer Drehbewegung des Ringes (12) um eine dritte, zu der ersten und der zweiten Achse senkrechte Achse erfolgt. Weitere Abgriffe (114, 116, 118, 1120, 122, 124, 126, 128) sprechen auf Auslenkungen des Ringes (12) um die dritte Achse an, wobei diese Auslenkung durch Corioliskräfte bei einer Drehbewegung des Ringes (12) um eine zweite Achse erfolgt.



DE 197 46 127 C 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen Sensor zur Messung von Drehraten, mit einem durch Schwingantriebsmittel zu Schwingungen um eine erste Achse angeregten Schwingglied.

Es ist bekannt, Drehraten dadurch zu messen daß ein Schwingglied zu Schwingungen angeregt wird, bei denen sich das Schwingglied radial zu einer Eingangsachse bewegt. Wenn das System einer Drehbewegung um diese Eingangsachse unterworfen wird, dann wirkt auf das Schwingglied eine Corioliskraft senkrecht zu der Eingangsachse und der momentanen Bewegungsrichtung des Schwinggliedes. Diese ebenfalls schwingende Corioliskraft erzeugt ihrerseits eine Schwingbewegung, die durch einen Abgriff abgegriffen werden kann.

Dabei bestimmt die Größe des Schwinggliedes im wesentlichen die Größe des Meßsignals. Der Grad der mechanischen, spannungsfreien Aufhängung des Schwinggliedes bestimmt in starkem Maße den Nullpunktfehler.

Durch die US-PS 5 668 318 A ist ein Sensor zur Messung von Drehraten bekannt. Dabei wird ein Schwingglied durch Schwingantriebsmittel zu Schwingungen um eine Achse angeregt. Das Schwingglied besteht aus einem massiven Körper, welcher in einem Sensorgehäuse so gehalten ist, daß er relativ zu dem Sensorgehäuse beweglich ist. Durch die Schwingantriebsmittel wird der massive Körper in Bewegung gesetzt und zwar so, daß er eine Orbitalbewegung entlang einem vorbestimmten Orbit ausführt. Abgriffe sind vorgesehen, um eine an dem Schwingglied in einer ersten axialen Richtung wirkende Corioliskraft zu detektieren, wobei diese erste axiale Richtung senkrecht zu einer tangentialen Richtung der Orbitalbewegung verläuft. Durch Auswertemittel wird die Winkelgeschwindigkeit um eine zweite Achse aus der tangentialen Geschwindigkeit des Schwingglieds und der detektierten Corioliskraft gewonnen, wobei die zweite Achse senkrecht zu der tangentialen Richtung und der ersten axialen Richtung verläuft.

Durch die EP 0 729 010 A1 ist ein Drehratensensor mit einer vibrierenden ringförmigen Mikrostruktur bekannt. Die ringförmige Mikrostruktur ist von Elektroden umgeben, welche mit der ringförmigen Mikrostruktur kapazitiv gekoppelt sind. Die ringförmige Mikrostruktur besteht aus einem Ring, welche über mehreren halbkreisförmigen Federn an einer Nabe befestigt ist. Durch Anlegen einer Wechselspannung an bestimmten Elektroden wird der Ring verformt, so daß er abwechselnd in zwei zu einander senkrechten Richtungen eine elliptische Form annimmt. Der Ring wird dabei so angeregt, daß eine Resonanzschwingung entsteht. Im Ruhezustand des Sensors, d. h. wenn der Sensor keine Rotationsbewegung ausführt, entstehen dadurch vier Schwingungsknoten an dem Ring. Durch Messen der Veränderung des Vibrationswinkels oder der Verschiebung der Schwingungsknoten wird die Drehrate des Sensors ermittelt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Sensor zur Messung von Drehraten der eingangs genannten Art so auszubilden, daß sich ein möglichst großes Meßsignal bei kleinem Nullpunktfehler ergibt, und ein Verfahren zu seiner Herstellung anzugeben.

Der Erfindung liegt weiter die Aufgabe zu Grunde, mit einem Sensor zur Messung von Drehraten der eingangs genannten Art gleichzeitig Drehraten um zwei zueinander senkrechte Eingangsachsen zu messen.

Erfindungsgemäß wird die erstere Aufgabe dadurch gelöst, daß

(a) das Schwingglied ein Ring ist, dessen Ebene sich

senkrecht zu der ersten Achse erstreckt und der an einem zentralen, in Richtung der ersten Achse liegenden Torsionsstab sitzt,

(b) der Ring durch die Schwingantriebsmittel in eine Drehschwingbewegung versetzbar ist, und

(c) Abgriffe vorgesehen sind, welche auf Auslenkungen des Ringes um eine zweite, zu der ersten Achse senkrechte Achse ansprechen, wobei diese Auslenkung durch Corioliskräfte bei einer Drehbewegung des Ringes um eine dritte, zu der ersten und der zweiten Achse senkrechte Achse erfolgt.

Zur Lösung der weiteren Aufgabe können weitere Abgriffe vorgesehen sein, welche auf Auslenkungen des Ringes um die dritte Achse ansprechen, wobei diese Auslenkung durch Corioliskräfte bei einer Drehbewegung des Ringes um die zweite Achse erfolgt.

Der Ring gewährleistet eine relativ große Masse des Schwinggliedes in maximalem Abstand von der Schwingachse. Der Ring kann so breit ausgebildet sein, daß sich eine große Fläche für einen Abgriffkondensator ergibt. Damit wird ein großes Meßsignal erhalten. Durch die Verwendung eines Torsionsstabes ergibt sich bei relativ hoher Steifigkeit in axialer Richtung ein geringes Rückstellmoment in Umfangsrichtung und ein geringes Biegemoment bei einer Auslenkung des Ringes aus seiner Ruhelage unter dem Einfluß von Corioliskräften.

Weitere Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche 3 bis 11.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist nachstehend unter Bezugnahme auf die zugehörigen Zeichnungen näher erläutert.

Fig. 1 ist eine auseinandergezogen-perspektivische Darstellung des Ringes mit dem Torsionsstab und den beweglichen Teilen der Schwingantriebsmittel sowie der feststehenden Teile der Schwingantriebsmittel.

Fig. 2 ist eine schematisch-perspektivische Darstellung der feststehenden Teile der Abgriffe.

Fig. 3 ist eine schematisch-perspektivische Darstellung des Sensors zur Messung von Drehraten.

In Fig. 1 ist mit 10 ein Schwingglied bezeichnet. Das Schwingglied 10 ist ein Ring 12 mit acht radialen, jeweils um 45° gegeneinander winkelversetzten Speichen 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26 und 28. Der Ring 12 ist ringscheibenförmig und in radialer Richtung relativ breit. Mit den Speichen 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26 und 28 ist der Ring 12 auf einem Torsionsstab 29 abgestützt. Der Torsionsstab 29 erstreckt sich senkrecht zu der Ebene des Ringes 12. An den Speichen sitzen in radialem Abstand voneinander angeordnete Gruppen von ersten Kondensatorplatten 30, 32, 34, 36, 38, 40, 42 und 44. Die ersten Kondensatorplatten, z. B. 46 und 48 in Gruppe 32 erstrecken sich in Umfangsrichtung. Zwischen den Gruppen 30, 32, 34, 36, 38, 40, 42 und 44 von ersten Kondensatorplatten liegen freie Sektoren 50, 52, 54, 56, 58, 60, 62 und 64.

Die Kondensatorplatten 30, 32, 34, 36, 38, 40, 42 und 44 bilden die beweglichen Teile von Schwingantriebsmitteln 66. Die feststehenden Teile der Schwingantriebsmittel 66 sind ebenfalls von sich in Umfangsrichtung erstreckende zweite Kondensatorplatten. Diese zweiten Kondensatorplatten sind in Gruppen von Paaren 68, 70, 72, 74, 76, 78, 80 und 82 angeordnet. Diese Gruppen 68, 70, 72, 74, 76, 78, 80 und 82 sind in den freien Sektoren 50, 52, 54, 56, 58, 60, 62 und 64 radial versetzt gegen die ersten Kondensatorplatten angeordnet und ragen teilweise zwischen die ersten Kondensatorplatten 30, 32, 34, 36, 38, 40, 42 und 44. Das ist am besten aus Fig. 3 ersichtlich. Jedes Paar von zweiten Kondensatorplatten besteht aus einer in Radialrichtung gesche-

nen "linken" Kondensatorplatte **84** und einer in Radialrichtung gesehen "rechten" Kondensatorplatte **86**. Die "linken" Kondensatorplatten **84** sind im Uhrzeigersinn gegen die radiale Mittellinie der Gruppen **68, 70, 72, 74, 76, 78, 80** und **82** versetzt. Die "rechten" Kondensatorplatten **86** sind entgegen dem Uhrzeigersinn gegen die radiale Mittellinie der Gruppen **68, 70, 72, 74, 76, 78, 80** und **82** versetzt. Wie am besten aus **Fig. 3** ersichtlich ist, ragen in Ruhestellung die "linken" Kondensatorplatten **84** etwa zur Hälfte zwischen die ersten Kondensatorplatten der im Uhrzeigersinn benachbarten Gruppe **30, 32, 34, 36, 38, 40, 42** oder **44**. Die "rechten" Kondensatorplatten **86** ragen in Ruhestellung etwa zur Hälfte zwischen die ersten Kondensatorplatten der entgegen dem Uhrzeigersinn benachbarten Gruppe **30, 32, 34, 36, 38, 40, 42** oder **44**. Beispielsweise ragt die rechte Kondensatorplatte **86** in **Fig. 1** zwischen die "links" von der Speiche **16** liegenden Teile der ersten Kondensatorplatten **46** und **48** der entgegen dem Uhrzeigersinn benachbarten Gruppe **32**. Die "linke" zweite Kondensatorplatte **84** des gleichen Paares ragt zwischen die "rechts" von der Speiche **14** liegenden Teile der Kondensatorplatten **88** und **90** der im Uhrzeigersinn benachbarten Gruppe **30**. An die zweiten Kondensatorplatten **84** und **86** jedes Paares sind Wechselspannungen gegenüber dem Ring **12** und den ersten Kondensatorplatten im Gegenteil anlegbar. Dadurch entstehen Coulombsche Kräfte zwischen den ersten und zweiten Kondensatorplatten in Umfangsrichtung: Eine zweite Kondensatorplatte **84** jedes Paares zieht die angrenzenden ersten Kondensatorplatten **88, 90** an und die andere Kondensatorplatte **86** dieses Paares stößt die angrenzenden Kondensatorplatten **46, 48** ab und umgekehrt. Die Schwingantriebsmittel arbeiten somit elektrostatisch.

Das Schwingglied **10** wird dadurch zu Schwingungen um die Achse des Torsionsstabes **29** angeregt. Der Torsionsstab **29** hat dabei ein relativ geringes Rückstellmoment in Umfangsrichtung. In Axialrichtung ist er steif. Er zeigt aber ein geringes Biegemoment bei einer Auslenkung des Schwinggliedes um eine in der Ebene des Ringes **12** liegende Achse.

Betrachtet man ein Element **92** des Ringes **12** (**Fig. 1**) so schwingt dieses Element **92** bei der Schwingung des Ringes **12** von links hinten nach rechts vorn in **Fig. 1** und umgekehrt. Bei einer Drehrate des Sensors um die Längsachse der Speiche **28** bewegt sich das Element **92** radial zu dem Drehratenvektor. Auf das Element **92** wirkt daher eine schwingende Corioliskraft, die senkrecht zum Geschwindigkeitsvektor des Elements **92** und zum Drehratenvektor liegt. Wenn die Corioliskraft auf das Element **92** zu einem bestimmten Zeitpunkt z. B. nach oben in **Fig. 1** gerichtet ist, dann wirkt auf ein dem Element **92** diametral gegenüberliegendes Element **94** des Ringes **12** eine in **Fig. 1** nach unten gerichtete Corioliskraft. Die Richtung des Geschwindigkeitsvektors des Elements **94** ist nämlich der Richtung des Geschwindigkeitsvektors des Elements **92** stets entgegengerichtet. Dementsprechend wirkt auf den Ring ein Drehmoment um die zu der Achse der Speiche **28** senkrechte Achse der Speiche **16**, wenn der Drehratenvektor in Richtung der Speiche **28** liegt. Die Corioliskräfte und das Drehmoment schwingen entsprechend den Drehschwingungen des Schwingglieds **10**. Dementsprechend wird das Schwingglied **10** zu Schwingungen um die Achse der Speichen **16** und **24** angeregt.

In entsprechender Weise erzeugt ein Drehratenvektor in Richtung der Speichen **16** oder **24** eine Schwingung um die Achse der Speichen **20** und **28**.

Diese Schwingungen werden durch kapazitive Abgriffe abgegriffen.

Im einzelnen sind zum Anlegen der Wechselspannungen an die Schwingantriebsmittel auf einem Substrat **100** eine

äußere, bogenförmige Leiterbahn **102** konzentrisch zu dem Torsionsstab **29** und eine ebenfalls zu dem Torsionsstab **29** konzentrische, innere, kreisförmige Leiterbahn **104** aufgebracht. Die "linken" Kondensatorplatten **84** jeder Gruppe **68, 70, 72, 74, 76, 78, 80** und **82** von zweiten Kondensatorplatten sind durch radial einwärts verlaufende Leiterbahnen, z. B. **106**, auf dem Substrat **100** mit der inneren, kreisförmigen Leiterbahn **104** verbunden. Die "rechten" Kondensatorplatten **86** jeder Gruppe **68, 70, 72, 74, 76, 78, 80** und **82** von zweiten Kondensatorplatten sind durch radial auswärts verlaufende Leiterbahnen, z. B. **108**, mit der äußeren, bogenförmigen Leiterbahn **102** verbunden. Die äußere, bogenförmige Leiterbahn **102** ist im Bereich zwischen den freien Sektoren **50** und **52** unterbrochen. Dort verläuft eine radiale Leiterbahn **110** von einem bogenförmigen Kontakt **112** zu der kreisförmigen, inneren Leiterbahn **104**. Wechselspannungen im Gegenteil werden an die äußere Leiterbahn **102** und den Kontakt **112** angelegt.

Die kapazitiven Abgriffe enthalten Kondensatorplatten **114, 116, 118, 120, 122, 124, 126** und **128**. Diese Kondensatorplatten **114, 116, 118, 120, 122, 124, 126** und **128** wirken mit dem ringscheibenförmigen Ring **12** zusammen und bilden Kondensatoren. Die Kapazitäten dieser Kondensatoren werden durch Schwingungen des Schwinggliedes **10** um seine Querachsen periodisch verändert. Dabei ist die Veränderung bei diametral gegenüberliegenden Paaren von Kondensatoren gegensinnig. Diese Veränderungen werden durch an sich bekannte und daher hier nicht beschriebene Schaltungen erfaßt. Die Kondensatorplatten **114, 116, 118, 120, 122, 124, 126** und **128** sind innerhalb der äußeren, bogenförmigen Leiterbahn **102** in regelmäßiger Anordnung konzentrisch zu dem Torsionsstab **29** ebenfalls auf das Substrat **100** aufgebracht. Die Kondensatorplatten **114, 116, 118, 120, 122, 124, 126** und **128** sind mit je einem Kontakt, z. B. **130**, verbunden. Weiterhin ist radial außerhalb von jeder Abgriff Kondensatorplatte **114, 116, 118, 120, 122, 124, 126** und **128** eine weitere Kondensatorplatte **132, 134, 136, 138, 140, 142, 144** und **146** ebenfalls auf das Substrat aufgebracht. Die Kondensatorplatten **132, 134, 136, 138, 140, 142, 144** und **146** wirken ebenfalls mit dem Ring **12** zusammen. Die Kondensatorplatten **132, 134, 136, 138, 140, 142, 144** und **146** sind mit je einem Kontakt, z. B. **148** verbunden. An die Kontakte **148** sind Rückführspannungen anlegbar.

Die gesamte Struktur ist mit der Technik der integrierten Schaltkreise, z. B. CMOS-Technik, hergestellt.

Patentansprüche

1. Sensor zur Messung von Drehraten, mit einem durch Schwingantriebsmittel (**66**) zu Schwingungen um eine erste Achse angeregten Schwingglied (**10**), **dadurch gekennzeichnet**, daß

(a) das Schwingglied (**10**) ein Ring (**12**) ist, dessen Ebene sich senkrecht zu der ersten Achse erstreckt und der an einem zentralen, in Richtung der ersten Achse liegenden Torsionsstab (**29**) sitzt, (b) der Ring (**12**) durch die Schwingantriebsmittel (**66**) in eine Drehschwingbewegung versetzbar ist, und

(c) Abgriffe (**114, 116, 118, 120, 122, 124, 126, 128**) vorgesehen sind, welche auf eine Auslenkung des Ringes (**12**) um eine zweite, zu der ersten Achse senkrechte Achse ansprechen, wobei diese Auslenkung durch Corioliskräfte bei einer Drehbewegung des Ringes (**12**) um eine dritte, zu der ersten und der zweiten Achse senkrechte Achse erfolgt.

2. Sensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß weitere Abgriffe (114, 116, 118, 120, 122, 124, 126, 128) vorgesehen sind, welche auf eine Auslenkung des Ringes (12) um die dritte Achse ansprechen, wobei diese Auslenkung durch Corioliskräfte bei einer Drehbewegung des Ringes (12) um die zweite Achse erfolgt.
3. Sensor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Ring (12) von einer Ringscheibe gebildet ist, die über radiale Speichen (14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28) mit dem Torsionsstab (29) verbunden ist.
4. Sensor nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß

- (a) die Schwingantriebsmittel (66) Sätze von in radialen Abständen voneinander auf den Speichen sitzenden, in Umfangsrichtung sich erstreckenden ersten Kondensatorplatten (30, 32, 34, 36, 38, 40, 42, 44) enthalten
- (b) und Sätze (68, 70, 72, 74, 76, 78, 80, 82) von feststehend angeordneten, sich in Umfangsrichtung erstreckenden zweiten Kondensatorplatten,
- (c) welche paarweise zwischen den Speichen (14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28) angeordnet sind und zwischen benachbarte erste Kondensatorplatten (30, 32, 34, 36, 38, 40, 42, 44) ragen, wobei jeweils eine Kondensatorplatte (84) jedes Paares zwischen erste Kondensatorplatten (88, 90) eines auf einer Seite der zweiten Kondensatorplatten angeordneten Satzes (30) von ersten Kondensatorplatten und die andere Kondensatorplatte (86) des Paares zwischen erste Kondensatorplatten (46, 48) eines auf der anderen Seite der zweiten Kondensatorplatten angeordneten Satzes (32) von ersten Kondensatorplatten ragt und
- (d) wobei Wechselspannungen im Gegentakt an die beiden Kondensatorplatten (84, 86) jedes Paares anlegbar ist.

5. Sensor nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Ring (12) durch vier oder acht um jeweils 90° oder 45° gegeneinander winkelfversetzte Speichen (14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28) an dem Torsionsstab (29) gehalten ist.

6. Sensor nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Abgriffe Kondensatoren aufweisen, die von dem ringscheibenförmigen Ring (12) und Kondensatorplatten (114, 116, 118, 120, 122, 124, 126, 128) gebildet sind, die auf einem zur Ebene des Ringes (12) im wesentlichen parallelen Substrat (100) aufgebracht sind.

7. Sensor nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß jeder Kondensatorplatte (114, 116, 118, 120, 122, 124, 126, 128) des Abgriffs eine weitere Kondensatorplatte (132, 134, 136, 138, 140, 142, 144, 146) räumlich zugeordnet ist, über welche durch Anlegen einer Spannung eine elektrostatische Kraft auf den Ring (12) ausübbar ist.

8. Sensor nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Kondensatorplatten (114, 116, 118, 120, 122, 124, 126, 128) mit Kontaktflächen (130) auf dem Substrat (100) verbunden sind.

9. Sensor nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß auf dem Substrat (100)

- (a) eine äußere bogenförmige Leiterbahn (102) konzentrisch zu der ersten Achse aufgebracht ist, welche im Bereich der Speichen über radiale Leiterbahnen (108) mit einer Kondensatorplatte (86) jedes Paares von zweiten Kondensatorplatten (68, 70, 72, 74, 76, 78, 80, 82) verbunden ist,

- (b) eine innere, kreisförmige Leiterbahn (104) aufgebracht ist, welche über radiale Leiterbahnen (106) mit den jeweils anderen Kondensatorplatten (84) jedes Paares von zweiten Kondensatorplatten (68, 70, 72, 74, 76, 80, 82) verbunden ist.

10. Sensor nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die äußere bogenförmige Leiterbahn (102) unterbrochen ist und dort ein Kontakt (112) über eine radiale Leiterbahn (110) mit der inneren, kreisförmigen Leiterbahn (104) verbunden ist.

11. Verfahren zur Herstellung eines Sensors nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Sensor mit der Technik der integrierten Schaltkreise hergestellt wird.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

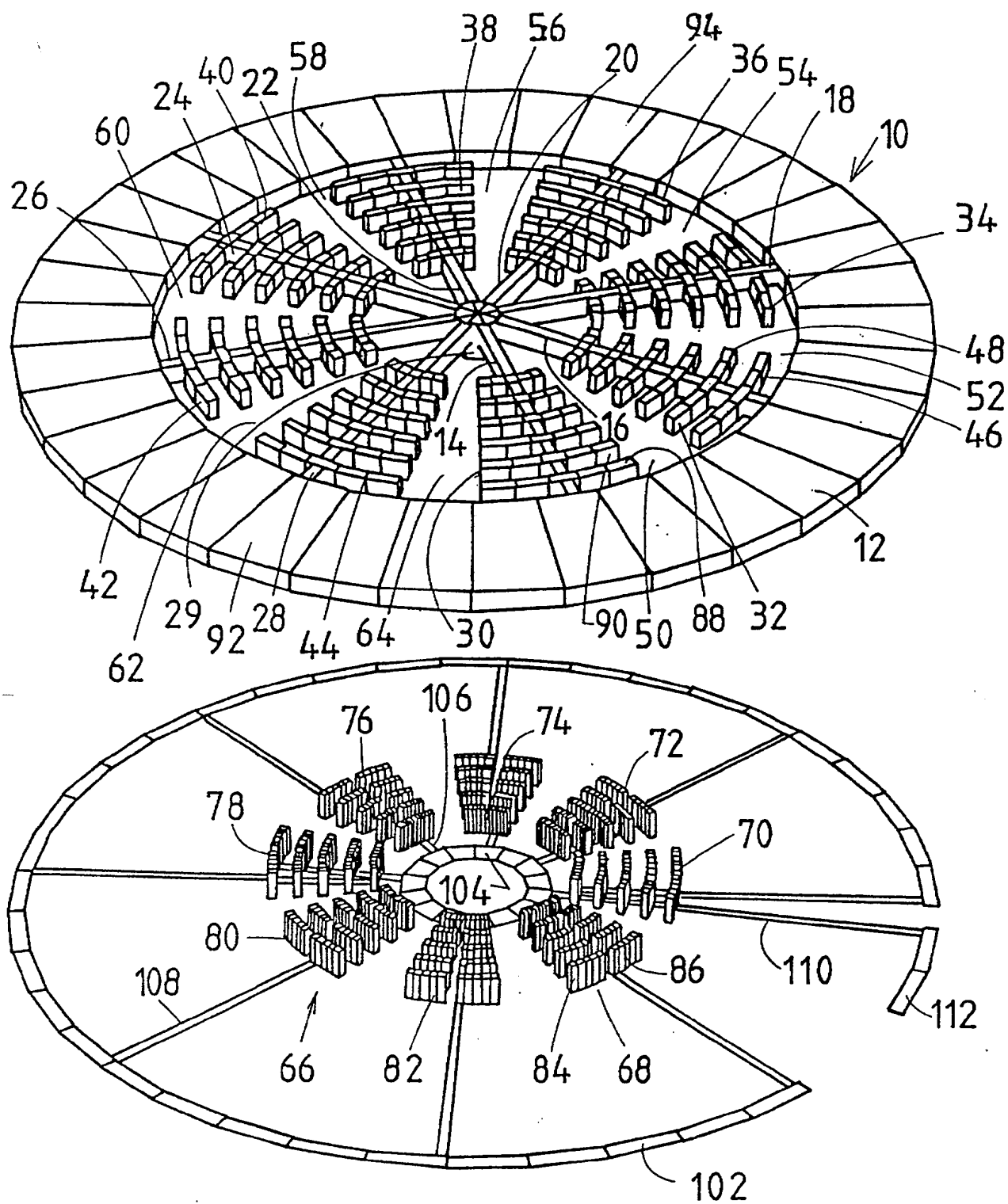


Fig. 1

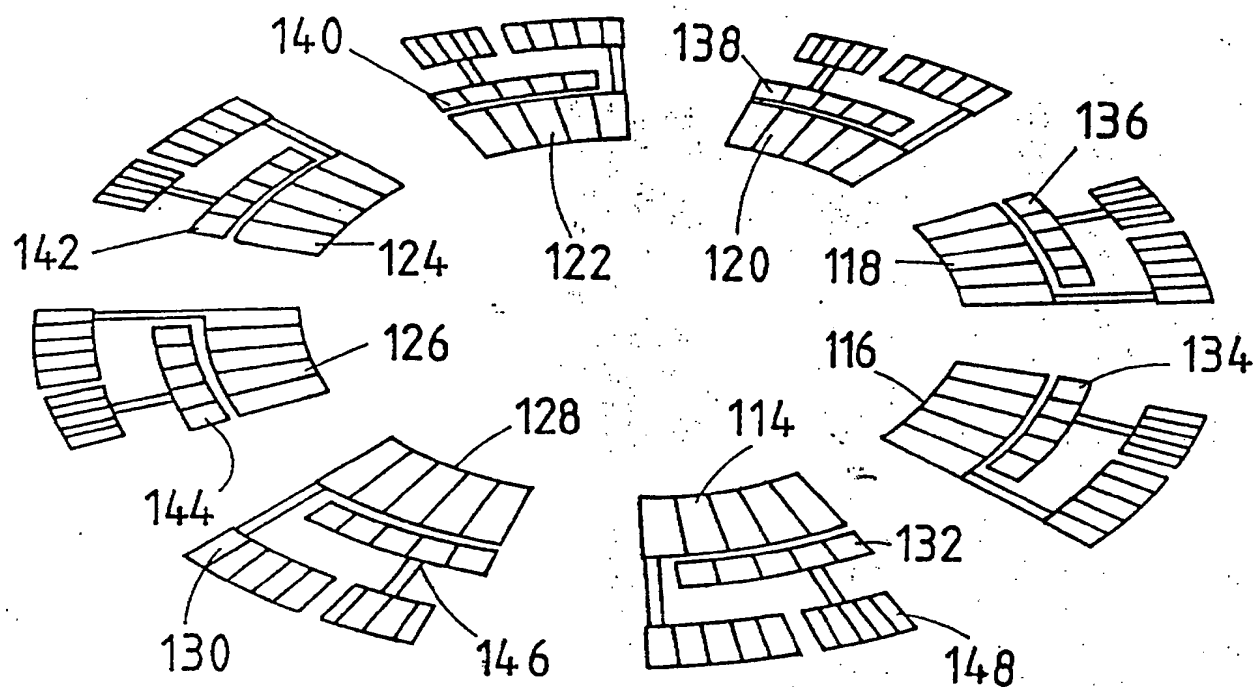


Fig. 2

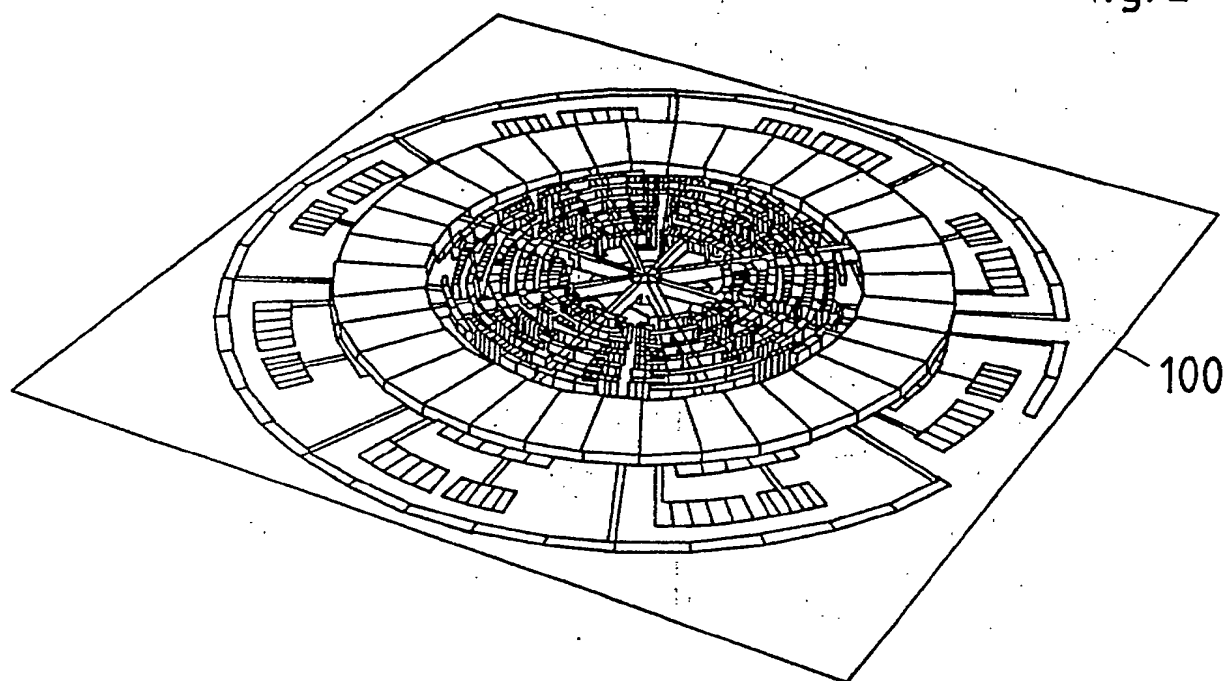


Fig. 3